

Die Prüfung dentaler Werkstoffe

Allgemein lassen sich dentale Werkstoffe in die Werkstoffklassen der Metalle, Keramiken, Kunststoffe und Hybridwerkstoffe einteilen, wobei die drei zuletzt genannten immer mehr an Bedeutung gewinnen. Die charakteristischen Eigenschaften eines Werkstoffs werden größtenteils durch seinen chemischen Aufbau bestimmt.

Da sich die obengenannten Werkstoffe im chemischen Aufbau stark voneinander unterscheiden, sind bestimmte Ma-

terialkennwerte des einen Werkstoffs für den dentalen Einsatz von größerer Bedeutung als für den anderen. Um die klinische Einsatzfähigkeit eines Materials nachweisen zu können, muss deshalb generell eine Reihe ausgewählter mechanischer und optischer Eigenschaften sowie bestimmter Oberflächen- und Systemeigenschaften untersucht werden (Tab. 1). Diese Eigenschaften lassen sich mithilfe etablierter Versuchsprotokolle testen. Zu den ausgewählten, relevanten Kennwerten zählen:

- mechanische Eigenschaften, wie Biegefestigkeit, E-Modul, Bruchzähigkeit, Weibull-Modul und Härte,
- optische Eigenschaften, wie Opazität/Transluzenz und Farbstabilität,
- Oberflächeneigenschaften, wie Rauigkeit, Oberflächenenergie bzw. Benetzbarkeit sowie
- Systemeigenschaften, wie Abrasionsbeständigkeit und Verbundfestigkeiten.



Abb. 1 Frästechnische Prüfkörperherstellung für 3-Punkt- oder 4-Punkt-Biegeprüfung aus Zirkonoxid (ungesintert).

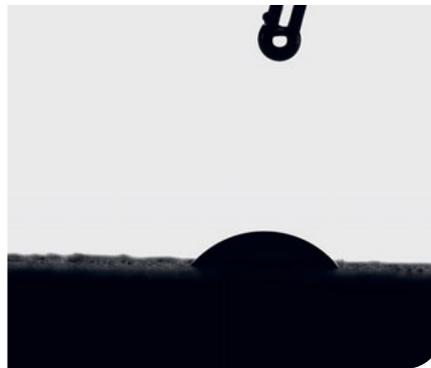


Abb. 2 Kontaktwinkelmessung zur Bestimmung der Oberflächenenergie und Benetzbarkeit.

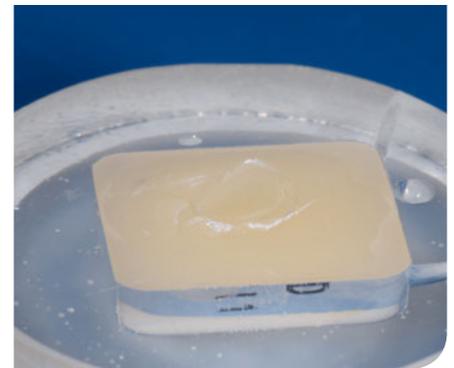


Abb. 3 Prüfkörper nach Verschleißuntersuchung (2-Körper-Verschleiß).

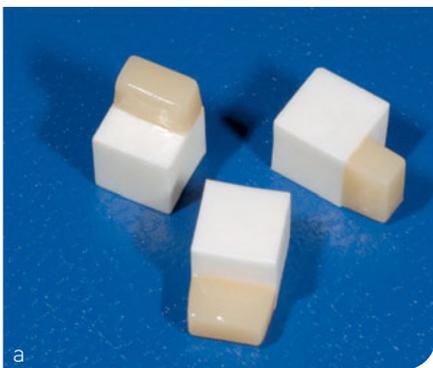


Abb. 4a und b Schmitz-Schulmeyer-Test: Prüfkörper für die Verbunduntersuchung im Schwerversuch (a) und die Prüfvorrichtung (b).



Tab. 1 Prüfmethode zur Ermittlung von Materialeigenschaften.

Materialkennwerte	Prüfmethode	Anmerkung
Mechanische Eigenschaften		
Biegefestigkeit (Widerstandskraft bei maximaler Durchbiegung eines Prüfkörpers mit definierter Geometrie; Abb. 1)	3-Punkt-Biegeprüfung 4-Punkt-Biegeprüfung biaxiale Biegeprüfung (Keramiken, Kunststoffe) Zugfestigkeitsprüfung (Metalle, Legierungen, Kunststoffe)	Die Biegefestigkeit von ZrO_2 zeigt Unterschiede, in Abhängigkeit von der Prüfmethode. Die biaxiale Biegeprüfung zeigt die höchsten Werte, gefolgt von der 3-Punkt-Biegeprüfung. Die 4-Punkt-Biegeprüfung zeigt die kleinsten Werte ¹ .
E-Modul (Elastizitätsmodul; Maß für die Steifigkeit eines Werkstoffes)	Festigkeitsprüfungen Indentertechniken	Der E-Modul ist mit dem Eindringmodul (Martenshärte) vergleichbar. Je größer er ist, desto mehr Widerstand gegen Verformung gibt es. Der E-Modul des Restaurationsmaterials sollte möglichst nah an dem vom menschlichen Zahn sein (Schmelz: 70–115 GPa, Dentin: 18–21 GPa) ² .
Bruchzähigkeit/ Risszähigkeit (Widerstand, den ein Material der Ausbreitung eines Risses entgegensezt)	Chevron Notched Beam (CNB) Single Edge V-Notched Beam (SEVNB) Indentertechniken	Für CNB und SEVNB ist eine aufwendige Prüfkörperpräparation nötig. Laut Norm ist die SEVNB-Methode nicht zur Prüfung von ZrO_2 geeignet und wird deshalb aktuell in der Literatur diskutiert ³ .
Weibull-Modul (statistischer Wert, der Aussagen über die Materialzuverlässigkeit macht)	z. B. Excel-Tabelle zur Berechnung der Weibull-Statistik ⁴	Je höher der Weibull-Modul, desto homogener der Werkstoff; je geringer, desto größer die Streuung der Festigkeitswerte ⁴ .
Härte (Widerstand gegen Eindringen eines härteren Gegenstands)	Martens Vickers Knoop Rockwell Brinell	Die Martenshärtemessung ist wenig verbreitet, birgt jedoch den Vorteil, dass ein Anwendereinfluss ausgeschlossen ist und elastische/plastische Anteile der Verformung (Eindringmodul) mitbestimmt werden.
Optische Eigenschaften		
Opazität/Transluzenz (Opazität = Maß für Lichtundurchlässigkeit)	Reflexion Transmission	Die Transluzenz des natürlichen Zahnes nimmt von der Schneide zum Zahnhals ab.
Farbstabilität	L*ab-Farbwerte, gemessen in Reflexion/Transmission	Dies ist besonders interessant nach definierter Lagerung in aggressiven Medien, wie Rotwein, Curry, Kresse, Möhrensaft.
Oberflächeneigenschaften		
Rauigkeit (Unebenheiten oder Gestaltsabweichungen der Oberfläche)	taktil oder optisch	Wird durch oberflächliches Bearbeiten (Schleifen, Polieren) beeinflusst. Die Rauigkeit steht in engem Zusammenhang mit der Benetzbarkeit einer Oberfläche.
Oberflächenenergie (macht Aussagen über die Benetzbarkeit; Abb. 2)	Kontaktwinkelmessung	Oberflächenvergrößerung (z. B. Korundstrahlen) hat einen positiven Einfluss auf Verbundfestigkeiten, jedoch einen negativen auf die Plaqueaffinität.
Systemeigenschaften		
Abrasionsbeständigkeit (Widerstand gegen Verschleiß; Abb. 3)	2-Körper-Verschleiß (Kausimulator) 3-Körper-Verschleiß (ACTA Maschine) Zahnbürstenabrasion	Einfluss nehmen viele Faktoren, z. B. Temperatur, Medium, Belastungsart und -dauer. Wichtig: Die Wahl des Materials gegen das verschliffen wird.
Verbundfestigkeiten (Stärke eines Verbundes; Abb. 4)	(Makro- oder Mikro-) Zug- und Scherverbundfestigkeit Kronenabzugsversuch Schwickerath-Test	Dies bezieht sich auf die Verbundfläche und wird durch thermische und mechanische Belastung beeinflusst.

Tab. 2 Simulationsverfahren.

Simulation der klinisch relevanten Situation		
Thermocycling	zyklische Temperaturwechsel (5/55°C) in H ₂ O	10.000 Zyklen entsprechen ca. zwölf Monaten in der Mundhöhle ⁵ .
Kausimulation	Einfluss der Kaubewegung (lateral) und Kaukraft (horizontal)	1,2 Mio. Zyklen entsprechen sechs Jahren in der Mundhöhle. Antagonisten sind: standardisierte Stahl-, Steatit- oder Schmelzantagonisten mit definierter Oberfläche.
diverse Lagerungsmedien (z. B. künstlicher Speichel, H ₂ O, Nahrungsmedien)	Lagerung meistens über mehrere Tage bei Körpertemperatur (37°C)	Dies ist besonders interessant nach definierter Lagerung in aggressiven Medien, wie Rotwein, Curry, Kresse, Möhrensaft.

Um den Einfluss typischer auftretender Parameter in der Mundhöhle auf die Eigenschaften der Werkstoffe zu untersuchen, werden diese Bedingungen häufig vor, oder während einer Untersuchung simuliert (Tab. 2).

Fazit

Im Laufe der Zeit hat sich eine Vielzahl von Prüfmethode etabliert, um Werkstoffe für die dentale Einsatzfähigkeit zu untersuchen. Hierbei steht nicht nur die Ermittlung charakteristischer Materialeigenschaften im Vordergrund, sondern vor allem die Betrachtung einflussnehmender Faktoren, wie mechanische Belastungen, Temperaturwechsel, optische Einflüsse, die Oberflächenbeschaffenheit und auch die klinisch relevante Geometrie.

Literatur

1. Schatz C, Strickstroock M, Roos M, Edelhoff D, Eichberger M, Zylla IM, Stawarczyk B. Influence of Specimen Preparation and Test Methods on the Flexural Strength Results of Monolithic Zirconia Materials. *Materials* 2016;9:180.
2. Zhang YR, Du W, Zhou XD, Yu HY. Review of research on the mechanical properties of the human tooth. *Int J Oral Sci* 2014;6:61–69.
3. Kailer A, Stephan M. On the feasibility of the Chevron Notch beam method to measure fracture toughness of fine-grained zirconia ceramics. *Dent Mater* 2016;32:1256–1262.
4. Bütikofer L, Stawarczyk B, Roos M. Two regression methods for estimation of a two-parameter Weibull distribution for reliability of dental materials. *Dent Mater* 2015;31:e33–50.
5. Gale MS, Darvell BW. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent* 1999;27:89–99.



Nina Lümckemann, M. Sc.

E-Mail: Nina.Luemckemann@med.uni-muenchen.de



PD Dr. Bogna Stawarczyk

E-Mail: Bogna.Stawarczyk@med.uni-muenchen.de

Beide:
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
LMU München